



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 195 23 771 A 1

51 Int. Cl. 6:  
A 61 B 5/04  
// G 01 R 33/02

21 Aktenzeichen: 195 23 771.4  
22 Anmeldetag: 29. 8. 95  
43 Offenlegungstag: 21. 3. 96

DE 195 23 771 A 1

30 Unionspriorität: 32 33 31

19.09.94 EP 94 11 4741.5

71 Anmelder:

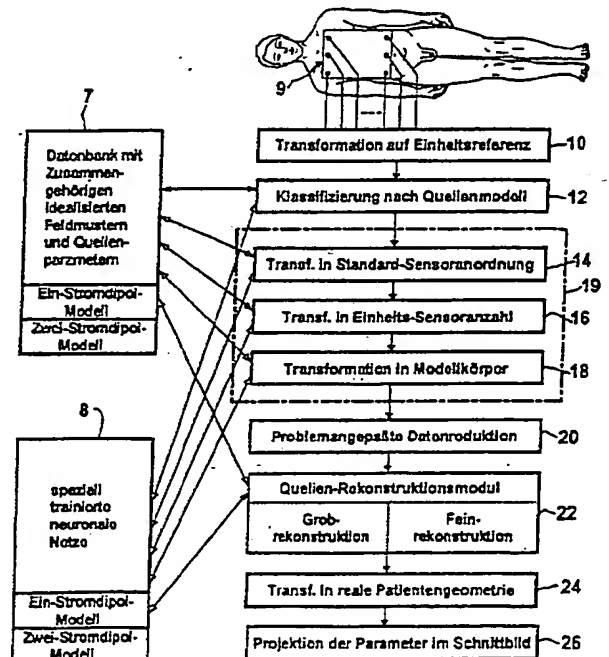
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:

Abraham-Fuchs, Klaus, Dipl.-Phys., 91058 Erlangen, DE;  
Schlang, Martin F., Dr.-Ing., 81735 München, DE;  
Oppelt, Arnulf, Dr.rer.nat., 91080 Spardorf, DE

54 Verfahren zur Rekonstruktion vom Parametern mindestens einer Quelle elektrophysiologischer Aktivität

57 Bei einem Verfahren zur Rekonstruktion von Parametern, vorzugsweise Ort, Stärke, Richtung, mindestens einer in einem Untersuchungsgebiet eines Lebewesens sich befindenden Quelle elektrophysiologischer Aktivität werden mit einer Meßanordnung (9) an verschiedenen Meßorten Feldwerte eines von der Quelle erzeugten elektrischen und/oder magnetischen Feldes erfaßt. Mit einem mit der Meßanordnung (9) verbundenen Quellen-Rekonstruktionsmodul (22) werden in Abhängigkeit der an den Meßorten erfaßten Feldwerte unter Standard-Modellbedingungen die Parameter bestimmt. Die Standard-Modellbedingungen umfassen ein ein Standard-Quellen nachbildendes Quellenmodell und/oder ein ein Standard-Untersuchungsgebiet nachbildendes Körpermodell und/oder ein eine Standard-Anordnung und/oder Standard-Anzahl der Meßorte nachbildendes Sensormodell. Zwischen der Meßanordnung (9) und dem Quellen-Rekonstruktionsmodul (22) ist mindestens ein Transformationsmodul (10, 14, 16, 18) vorgesehen, das die Feldwerte zu Standard-Feldwerten transformiert, die die Quelle unter den Standard-Modellbedingungen erzeugen würde.



Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 01.96 508 092/448

9/29

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Rekonstruktion von Parametern mindestens einer in einem Untersuchungsgebiet eines Lebewesens sich befindenden Quelle elektrophysiologischer Aktivität mit einer Meßanordnung, mit der an verschiedenen Meßorten Feldwerte eines von der Quelle erzeugten elektrischen und/oder magnetischen Feldes erfaßt werden, und mit einem mit der Meßanordnung verbundenen Quellen-Rekonstruktionsmodul, das in Abhängigkeit der an den Meßorten erfaßten Feldwerte die Parameter bestimmt.

Ein Verfahren der eingangs genannten Art ist aus der US 4 736 751 oder auch der US 5 265 611 bekannt. Die im Innern eines Lebewesens oder in einem Untersuchungsgebiet ablaufenden elektrophysiologischen Aktivitäten erzeugen sowohl elektrische wie auch magnetische Felder, die in der medizinischen Diagnostik ausgewertet werden. Die elektrischen Felder werden mit einer Elektrodenanordnung auf der Oberfläche des Patientenkörpers, möglichst in der Nähe des Untersuchungsgebiets, erfaßt und einem Auswertesystem zugeführt, das Parameter der felderzeugenden elektrophysiologischen Aktivität bestimmt. Die magnetischen Felder werden mit Hilfe eines biomagnetischen Meßsystems, welches eine Vielkanal-Gradiometeranordnung umfaßt, außerhalb des Patientenkörpers und Untersuchungsgebiets gemessen und ebenfalls zur Rekonstruktion der Parameter der Quelle elektrophysiologischer Aktivität dem Auswertesystem oder dem Quellen-Rekonstruktionsmodul zugeführt. Die hauptsächlich interessierenden Parameter sind der Ort, die Stärke und die Richtung der elektrophysiologischen Aktivität. Mit dem Quellen-Rekonstruktionsmodul verbunden ist eine Anzeigevorrichtung, die zur besseren Auswertung die Parameter ortsrichtig in einem anatomischen Schnittbild darstellt.

Aus dem Artikel von Abeyratne, Kinouchi, Oki, Okada, Shichijo und Matsumoto mit dem Titel: "Artificial Neural Networks for Source Localization in the Human Brain", erschienen in Brain Topography, Vol. 4, No. 1, 1991, pp. 3—21 ist bekannt, daß neuronale Netze den Zusammenhang der gemessenen elektrischen oder magnetischen Felder mit den Parametern der Quelle erlernen und dann aus einem vorgegebenen Feldmuster diese Parameter schätzen können, um so z. B. eine Quellenlokalisierung durchzuführen, d. h. den Ort der Aktivität im Untersuchungsgebiet zu bestimmen.

Die Rekonstruktionsgenauigkeit der Quellenparameter aus den gemessenen bioelektrischen oder biomagnetischen Feldern kann durch aufwendige und komplexe Modelle des Patientenkörpers und/oder des Untersuchungsgebiets und/oder der Quelle elektrophysiologischer Aktivität gesteigert werden. So ist von B. M. Horacek in dem Artikel: "Forward Problem of Electrocardiography and Magnetocardiography: A Continuing Challenge", erschienen in IEEE/Ninth Annual Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society, 1987, pp. 509—510, zur Bestimmung der elektrischen und magnetischen Felder, die vom Herzen erzeugt werden, ein digitales Herzmodell beschrieben, welches die Form und anisotropische Struktur des menschlichen Herzens aufweist. Jedes Element in diesem Modell verhält sich wie wirkliches Herzgewebe. Um Felder außerhalb des Herzmodells zu berechnen, wird zusätzlich in einem numerischen Modell ein inhomogener Torso benutzt, worin das Herzmodell eingebettet ist.

In dem Artikel von Purcell, Stroink und Horacek mit

dem Titel: "Magnetic Inverse Solution Using a Homogeneous Torso Modell", erschienen im IEEE/Ninth Annual Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society, 1987, pp. 214—215, wird ein homogenes Körpermodell verwendet, dessen äußere Begrenzungen dem wirklichen Körper entsprechen.

Diese aufwendigen Modelle haben zwar ein vielversprechendes Potential zur Beantwortung klinisch relevanter Fragestellungen, ihr praktischer Einsatz in einem Diagnosegerät scheitert jedoch an den langen Rechenzeiten.

Der direkte Einsatz von neuronalen Netzen zur Bestimmung der Parameter verbietet sich ebenfalls. In der vorliegenden Meßproblematik sprengt die Kombinationsmöglichkeit aller unabhängigen Variationen — die weiter unten noch erläutert werden — die Grenzen der durchführbaren Rechenzeiten für Simulation und Training. Weichen die realen Gegebenheiten der Felderzeugung und/oder Feldmessung von den Daten, mit denen das Netz trainiert wurde, signifikant ab, so kann dies zu Fehlern in der Quellen-Rekonstruktion führen. Die Haupteinflußgrößen auf die Messung und damit auf die Rekonstruktion der Parameter aus den Meßwerten sind:

1. Die Form und die Größe des menschlichen Körpers variieren so stark, daß ein oder wenige Körpermodelle nicht ausreichen, um genügend genau die Parameter der Quelle zu bestimmen. Mögliche Einflußgrößen sind auch Geschlecht und Alter des Patienten.
2. Das Zielorgan für die Quellenrekonstruktion, d. h. das Untersuchungsgebiet, kann von Patient zu Patient unterschiedlich sein. So kann z. B. die Lage, die Orientierung und die Größe des menschlichen Herzens im Torso deutlich schwanken.
3. Auf Grund der anatomischen Gegebenheiten läßt sich nicht immer eine bestimmte Anzahl von Sensoren exakt in der gleichen räumlichen Position anordnen, d. h. die Meßorte können variieren. Ein Beispiel ist die Form der weiblichen Brust beim Anbringen von Meßelektroden auf der Torsooberfläche.
4. Die Anzahl der verfügbaren Sensoren kann aus verschiedenen Gründen, z. B. bei einem technischen Defekt, veränderlich sein.
5. Bei Messungen der elektrischen Feldverteilung ist die Wahl der Potentialreferenz, gegen die die Messungen vorgenommen werden, uneinheitlich.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem die Parameter der Quelle elektrophysiologischer Aktivität mit großer Genauigkeit auch bei wechselnden anatomischen und meßtechnischen Gegebenheiten in einer angemessenen Rechenzeit bestimmt werden können.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß das Quellen-Rekonstruktionsmodul unter Standard-Modellbedingungen die Parameter bestimmt, wobei die Standard-Modellbedingungen ein eine Standard-Quelle nachbildendes Quellenmodell und/oder ein ein Standard-Untersuchungsgebiet nachbildendes Körpermodell und/oder ein eine Standard-Anordnung und/oder Standard-Anzahl der Meßorte nachbildendes Sensormodell umfaßt, und daß zwischen der Meßanordnung und dem Quellen-Rekonstruktionsmodul ein Transformationsmodul vorgesehen ist, das die Feldwerte zu Standard-Feldwerten transformiert, die die Quelle unter den Standard-Mo-

dehbedingungen erzeugen würde.

Die realen Meßbedingungen sind so idealisiert, daß eine Vielzahl möglichen Felder oder Feldmuster einmal in einer Konstruktionsphase des Verfahrens berechnet oder gemessen und auf Datenträgern gespeichert werden können. Die Anzahl der zu berechnenden Feldmuster wird durch die geforderte Genauigkeit der Quellenrekonstruktion bestimmt. Die Zusammenhänge zwischen den Feldern und den Quellenparametern liegen dann in Form von Tabellen vor, die entweder direkt zur Quellenrekonstruktion verwendet werden oder mit denen lernfähige Algorithmen, wie z. B. neuronale Netze, trainiert werden. Berücksichtigt werden dabei, je nach erforderlicher Genauigkeit, ein, mehrere oder alle der oben erwähnten Ursachen für Abweichungen von den idealisierten Standard-Modellbedingungen.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung zeichnet sich dadurch aus, daß das Quellen-Rekonstruktionsmodul mehrere Quellenmodelle umfaßt, daß die Feldwerte, bevor sie dem Transformationsmodul zugeführt werden, auf ihre Konsistenz mit den Quellenmodellen überprüft werden, daß dann das Quellenmodell ausgewählt wird, das die Quelle am besten beschreibt, und daß die Feldwerte in Abhängigkeit des ausgewählten Quellenmodells transformiert werden. Die Art und Weise der Transformation oder Abbildung der realen Meßbedingungen auf die idealisierten Modellannahmen kann stark abhängig sein vom gewählten Quellenmodell. So kann eine Quelle elektrophysiologischer Aktivität z. B. von einem einzelnen Dipol als auch von einer Gruppe von Dipolen beschreibbar sein.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung werden zur Transformation die Feldwerte an den Meßorten in Standard-Feldwerte der Standard-Anordnung interpoliert oder extrapoliert. Damit läßt sich die durch die anatomischen Gegebenheiten vorgegebene Anordnung der Sensoren leicht an die Modellbedingungen anpassen.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung zeichnet sich dadurch aus, daß das Transformationsmodul die Feldwerte in Standard-Feldwerte einer Standardanzahl von Meßorten transformiert über eine Interpolation oder Extrapolation bei fehlenden Meßwerten gegenüber der Standard-Anzahl und/oder durch Ignorieren der entsprechenden Feldwerte bei fehlenden Meßorten in der Standard-Anzahl. Insbesondere wenn das den Meßwerten überlagerte Rauschen mitbetrachtet wird, kann ein genaueres Ergebnis erzielt werden, indem anstatt Meßwerte zu ignorieren, die Redundanz dieser Meßwerte durch Interpolation/Extrapolation ausgenutzt wird.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung umfaßt das Transformationsmodul ein neuronales Netz zur Transformation der gemessenen Feldwerte am Patientenkörper in Standard-Feldwerte des Körpermodells. Diese Transformation stellt ein nichtlineares, schwer modellierbares Interpolationsproblem dar, das vorteilhaft von einem entsprechend trainierten neuronalen Netz gelöst werden kann. Das neuronale Netz wird mit typischen Feldmustern an einigen ausgewählten oder extremen Körpergeometrien trainiert, um dann zwischen diesen Körpergeometrien interpolieren zu können.

Die Abbildungsgenauigkeit des neuronalen Netzes wird in einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung dadurch erhöht, daß dem neuronalen Netz Größen zusätzlich zugeführt werden, die Abmessungen des Untersuchungsgebiets kennzeichnen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird

dem neuronalen Netz Alter und Geschlecht des zu untersuchenden Lebewesens zugeführt, die ebenfalls Einflußgrößen auf die Rekonstruktion der Parameter darstellen.

Um redundante Informationen aus den Feldwerten zu entfernen, werden in einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung die Amplituden der Feldwerte normiert.

Zur Darstellung der gefundenen Parameter werden in einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung die in einem Koordinatensystem des Modellkörpers ermittelten Parameter in ein Koordinatensystem des Patientenkörpers oder des Untersuchungsgebiets transformiert.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung werden zumindest einige Parameter in einem Schnittbild des Untersuchungsgebiets ortsrichtig dargestellt. Die Zuordnung der Parameter zur Anatomie des Untersuchungsgebiets erleichtert die Interpretation der gefundenen Parameter und damit auch eine Diagnose.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens erfolgt die Rekonstruktion der Parameter in zwei Stufen, wobei die erste Stufe eine Grobrekonstruktion und die zweite Stufe eine Feinrekonstruktion umfaßt. Durch das hierarchische Vorgehen wird insbesondere bei der Verwendung komplexer Modelle unter Einsparung von Rechenzeit das Ergebnis nochmals verbessert.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung zeichnet sich dadurch aus, daß die Feinrekonstruktion durch Vergleich der transformierten Feldwerte mit den in der datenbank-ähnlichen Struktur gespeicherten Standard-Feldwerten erfolgt. Die Quellenparameter werden damit nur in einem sehr kleinen Bereich noch nachoptimiert.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von zwei Figuren erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Flußdiagramm zur Konstruktion des erfindungsgemäßen Verfahrens und

Fig. 2 ein Flußdiagramm zur Quellenrekonstruktion aus Meßdaten.

Die von elektrophysiologischen Aktivitäten erzeugten Felder werden gemessen mit einem bioelektrischen oder biomagnetischen Meßsystem, wie es in der US 4 736 751 beschrieben ist. Als biomagnetisches Meßsystem kann auch die aus der US 5 265 611 bekannte Vorrichtung verwendet werden. Die Felder werden als Feldmuster mit einer Vielkanalmeßanordnung an einer zur Rekonstruktion ausreichenden Anzahl von Meßorten gleichzeitig erfaßt. Bei genügend langsamen oder auch bei wiederholten Aktivitäten ist auch ein aufeinanderfolgendes Abtasten der Meßorte zur Ermittlung des Feldmusters mit einer Meßanordnung möglich, wobei die Anzahl der Meßkanäle geringer ist als die Anzahl der Meßorte. Aus den Feldwerten werden dann Parameter der Quelle, wie z. B. Ort, Stärke und Richtung, bestimmt und visualisiert.

Grundlage des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Rekonstruktion der Parameter ist eine Idealisierung der realen Meßbedingungen, d. h. einer idealisierten Kombination von Körpermodell, Quellenmodell und Sensoranordnung. Die gewählten Modelle können sowohl einfach als auch sehr komplex sein. Sie besitzen entweder geschlossene analytische Lösungen des Zusammenhangs von Feldwerten und Quellenparametern oder der Zusammenhang läßt sich mit numerischen Lösungsmethoden berechnen. In einem Berechnungsschritt 2 wird eine Vielzahl möglicher Felder — typisch einige 1000 bis einige 10.000 Felder — durch Variation der Modelle berechnet und die so berechnete Datenmenge auf übli-

chen Datenträgern gespeichert. Der dazu notwendige Rechenaufwand, der Tage oder auch Wochen in Anspruch nehmen kann, wird jedoch nur einmal in der Konstruktionsphase des Verfahrens durchgeführt. Die gewonnene Information über den Zusammenhang von Feldmustern und Quellenparametern liegt dann in Form von Tabellen vor. Der Zusammenhang zwischen den Feldmustern und den Quellenparametern kann auch über Messungen an den entsprechenden Modellen ermittelt werden. Diese Tabellen werden in einer datenbankähnlichen Struktur 4 abgespeichert. Die Datenbank 4 kann in einer ersten Alternative 5 direkt genutzt werden um on line eine Quellenrekonstruktion durchzuführen. Eine zweite Alternative 6 besteht darin, mit Hilfe der Datenbank 4 ein oder auch mehrere neuronale Netze zu trainieren, z. B. für spezielle Aufgaben bei der Rekonstruktion.

Das in Fig. 2 als Flußdiagramm dargestellte Verfahren zur Rekonstruktion geht aus von den im Modell ermittelten Zusammenhängen zwischen Feldmustern und Quellenparametern. Dabei ist die Nutzung der datenbankähnlichen Struktur 7 gleichwertig neben der Nutzung eines oder mehrerer entsprechend trainierter neuronaler Netze 8. Für jede der im folgenden durchzuführenden Transformationen kann entweder die Datenbank 7 direkt oder ein entsprechend spezialisiert trainiertes neuronales Netz 8 eingesetzt werden. Im Beispiel werden am Oberkörper eines Patienten mit einer Meßanordnung 9, die eine Vielzahl von Elektroden, z. B. 40–60 Elektroden, umfaßt, Potentiale abgegriffen, die von Herzaktivitäten erzeugt werden. Das Herz ist das Untersuchungsgebiet, worin sich die Quelle elektrophysiologischer Aktivität befindet, deren Parameter rekonstruiert werden sollen. Ausgehend von den gemessenen Potentialdaten wird in einem ersten Schritt 10 eine Transformation der Potentialdaten auf eine Einheitsreferenz durchgeführt. Anhand der transformierten Potentialdaten wird dann anschließend eine Musterklassifizierung 12 durchgeführt, mit der ein Quellenmodell bestimmt wird, mit dem die gemessenen Feldwerte am besten erzeugbar sind. Ein geeignetes Verfahren zur Musterklassifizierung ist in der DE-OS 42 25 894 angegeben. Dabei werden die zu klassifizierenden Feldwerte einem neuronalen Netz 8 zugeführt. Das Ergebnis der Musterklassifizierung 12 ist ein Wert, der angibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit das Feldmuster von einem bestimmten Quellenmodell erzeugbar ist. Als Quellenmodelle können sowohl ein einzelner Stromdipol wie auch Gruppen von Stromdipolen die Quelle der elektrophysiologischen Aktivitäten modellieren. Die Musterklassifizierung 12 kann auch mit Hilfe einer zuvor erstellten Datenbank 7 erfolgen.

In einem nächsten Schritt 14 "Meßorttransformation" werden die Meßorte transformiert in eine Einheits- oder Standard-Anordnung der Sensoren. Die dazu erforderliche nichtlineare Interpolation in einem vierdimensionalen Muster (Amplitude in einer dreidimensionalen räumlichen Anordnung der Sensoren) kann ebenfalls über in der Datenbank 7 gespeicherte Tabellen oder mit Hilfe des neuronalen Netzes 8 erfolgen.

Bei der sich anschließenden Transformation der Anzahl der Meßwerte in transformierte Meßwerte in einer Einheitssensoranzahl in einem Verfahrensschritt 16 werden nicht vorhandene Meßwerte aus den vorhandenen interpoliert oder extrapoliert. Sind Feldwerte an Meßorten erfaßt worden, die im Modell keine Entsprechung finden, werden diese Feldwerte ignoriert. Diese zusätzliche Meßwerte können jedoch trotzdem von

Nutzen sein, indem sie die Genauigkeit bei der Interpolation der anderen Meßwerte steigern.

In einer weiteren Transformation 18 wird die Form und Größe des realen Patientenkörpers berücksichtigt, indem die gemessenen Feldmuster transformiert werden auf einen Modellkörper, an dem bei gleicher Quellenaktivität unter den idealisierten Modellannahmen entsprechende Felder gemessen würden. Dies ist wieder ein nichtlineares, schwer bzw. mit hohem Rechenaufwand modellierbares Interpolationsproblem, das hier von einem neuronalen Netz 8 oder von einer zuvor erstellten Datenbank 7 gelöst wird. Dabei wird das neuronale Netz 8 mit typischen Feldmustern einiger ausgewählter extremer Körpergeometrien trainiert, um dann anschließend zwischen diesen Körpergeometrien interpolieren zu können. Die Genauigkeit wird erhöht, wenn dem Netz 8 neben den Meßwerten eine parametrisierte Charakterisierung der realen Körpergeometrie des Untersuchungsgebiets, wie z. B. Breite, Dicke und Länge des Torsos bei Magneto- oder Elektrokardiogramm-Auswertungen, zugeführt werden. Dem neuronalen Netz 8 werden auch Alter und Geschlecht des Patienten zugeführt, die ebenfalls die Feldwerte beeinflussen können.

Die zuvor beschriebenen Transformationen 14, 16, 18 gehören zu dem Teil des Transformationsmoduls 19, der als getrennte Funktionsmodule realisiert sein oder auch unterschiedlich kombiniert in einer Funktionseinheit zusammengefaßt sein kann. So ist es möglich, z. B. alle die Anzahl und Anordnung der Meßorte betreffende Transformationen 14, 16 zu einem Funktionsmodul zusammenzufassen oder auch die Reihenfolge der einzelnen Module 14, 16, 18 zu tauschen.

Eine problemangepaßte Datenreduktion 20 entfernt aus den Meßwerten redundante Information, so daß die Rekonstruktion der Quellenparameter erleichtert wird. Dazu gehört eine Amplitudennormierung der Feldmuster entsprechend wie in der DE-OS 42 25 894, die auch die Quellenlokalisierung mit Hilfe eines neuronalen Netzwerks verbessert. Ebenfalls können wie dort angegeben auch Symmetrieverhältnisse und Invarianzen, wie z. B. Rotationsinvarianzen, genutzt werden, um die Rekonstruktion der Parameter zu verbessern.

In einem nachfolgenden Quellen-Rekonstruktionsmodul 22 werden diejenigen Parameter des aus der Musterklassifizierung 12 bestimmten Quellenmodells gefunden, die den aus den aufbereiteten oder transformierten Feldwerten gebildeten Meßdatenvektor bestmöglich erklären. Zur Rekonstruktion kann sowohl ein neuronales Netz 8 wie auch eine iterative Suchstrategie in den gesamten in der Konstruktionsphase abgespeicherten Feldmustern 7 durchgeführt werden. Als Iterationsverfahren kommt z. B. der Levenberg-Marquardt-Algorithmus in Betracht. Eine weitere Möglichkeit zur Rekonstruktion, insbesondere der Lokalisation, bildet ein Vergleich der abgespeicherten Feldmuster aller Quellenpositionen innerhalb eines Untersuchungsgebiets mit einer wählbaren Rasterweite, wie z. B. in dem Artikel von B. Scholz, A. Oppelt: "Probability based dipole localization and individual localization error calculation in biomagnetism", erschienen in Proceed. of the 14th Annual International Conference of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Paris 29. Okt. — 1. Nov. 1992, Part 5, pp. 1766–1767.

Der Zeitverbrauch zur Rekonstruktion der Parameter und die Genauigkeit der Rekonstruktion nehmen in der Reihenfolge — neuronales Netz — iterative Suchstrategie — Rasterung zu. Dabei ist ein hierarchisches Vor-

gehen vorteilhaft, vorzugsweise in einer Kombination einer Groblokalisierung mit einem neuronalen Netz und einer Feinklokalisierung mit Rasterung in einem kleinen Untervolumen des Untersuchungsgebiets, in der Nähe der gefundenen Groblokalisierung. Vorteilhaft sind dabei die in der Konstruktionsphase gefundenen und abgespeicherten Zusammenhänge zwischen den Feldwerten und den Parametern zum Zwecke der Rasterung hierarchisch in unterschiedliche Speichermodulen gespeichert. Dann ist in einem ersten Speichermodul das gesamte Zielvolumen in einem groben Raster und in weiteren Speichermodulen in Subvolumina mit kleinem Raster abgespeichert. In einer ersten Stufe wird die Quellenrekonstruktion, z. B. eine Lokalisation, in dem groben Raster durchgeführt. Das dabei ermittelte Element bestimmt das Speichermodul, mit dem dann die Rekonstruktion in dem feinen Raster durchgeführt wird. Nach einer ausreichend genauen Abschätzung der Quellenparameter mit einer der zuvor beschriebenen Strategien kann dann unter Verwendung komplexer Modelle für die reale Meßsituation, d. h. ohne Transformation der Feldwerte, bei vertretbar geringer Rechenzeit das Ergebnis nochmals verbessert werden, indem nunmehr die Quellenparameter nur in einem sehr kleinen Bereich nachoptimiert werden.

Die Quellenparameter sind in einem Koordinatensystem der idealisierten Modellrechnung gültig und werden in einer weiteren Transformation 24 in die reale Körpergeometrie, d. h. in das Meßkoordinatensystem zurücktransformiert.

Dargestellt werden die Quellenparameter ortsrichtig in einem Schnittbild des Untersuchungsgebiets im Verfahrensschritt 26. Für die Schnittbilderstellung bieten sich z. B. die bekannten diagnostischen Verfahren Röntgen-Computer-Tomographie oder Kernspinresonanz an.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Rekonstruktion von Parametern, vorzugsweise Ort, Stärke, Richtung, mindestens einer in einem Untersuchungsgebiet eines Lebewesens sich befindenden Quelle elektrophysiologischer Aktivität mit einer Meßanordnung (9), mit der an verschiedenen Meßorten Feldwerte eines von der Quelle erzeugten elektrischen und/oder magnetischen Feldes erfaßt werden, und mit einem mit der Meßanordnung (9) verbundenen Quellen-Rekonstruktionsmodul (22), das in Abhängigkeit der an den Meßorten erfaßten Feldwerte die Parameter bestimmt, dadurch gekennzeichnet, daß das Quellen-Rekonstruktionsmodul (22) unter Standard-Modellbedingungen die Parameter bestimmt, wobei die Standard-Modellbedingungen ein eine Standard-Quelle nachbildendes Quellenmodell und/oder ein ein Standard-Untersuchungsgebiet nachbildendes Körpermodell und/oder ein eine Standard-Anordnung und/oder Standard-Anzahl der Meßorte nachbildendes Sensormodell umfaßt, und daß zwischen der Meßanordnung (9) und dem Quellen-Rekonstruktionsmodul (22) mindestens ein Transformationsmodul (10, 14, 16, 18) vorgesehen ist, das die Feldwerte zu Standard-Feldwerten transformiert, die die Quelle unter den Standard-Modellbedingungen erzeugen würde.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Quellen-Rekonstruktionsmodul (22) mehrere Quellenmodelle umfaßt, daß die Feld-

werte, bevor sie dem mindestens einen Transformationsmodul (14, 16, 18) zugeführt werden, auf ihre Konsistenz mit den Quellenmodellen überprüft werden, daß dann das Quellenmodell ausgewählt wird, das die Quelle am besten beschreibt, und daß die Feldwerte in Abhängigkeit des ausgewählten Quellenmodells transformiert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Transformation der Feldwerte an den Meßorten in Standard-Feldwerte der Standard-Anordnung im Sensormodell die Feldwerte interpoliert oder extrapoliert werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Transformationsmodul ein neuronales Netz umfaßt, das die Feldwerte in eine Standard-Anordnung der Meßorte transformiert.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Transformationsmodul die Feldwerte in Standard-Feldwerte einer Standard-Anzahl von Meßorten transformiert über eine Interpolation oder Extrapolation bei fehlenden Meßwerten gegenüber der Standard-Anzahl und/oder durch Ignorieren der entsprechenden Feldwerte bei fehlenden Meßorten in der Standard-Anzahl.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Transformationsmodul ein neuronales Netz umfaßt zur Transformation der gemessenen Feldwerte am Patientenkörper in Standard-Feldwerte des Körpermodells.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß dem neuronalen Netz Größen zusätzlich zugeführt werden, die kennzeichnend für die Abmessungen des Untersuchungsgebiets sind.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß dem neuronalen Netz Alter und Geschlecht des zu untersuchenden Lebewesens zugeführt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Amplituden der Feldwerte normiert werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die in einem Koordinatensystem des Modellkörpers ermittelten Parameter in ein Koordinatensystem des Patientenkörpers oder des Untersuchungsgebiets transformiert werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einige Parameter in einem Schnittbild des Untersuchungsgebiets ortsrichtig dargestellt werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Quellen-Rekonstruktionsmodul eine datenbankähnliche Struktur aufweist, die in einer Konstruktionsphase in Abhängigkeit der Standard-Feldwerte ermittelte Parameter umfaßt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Rekonstruktion der Parameter in zwei Stufen erfolgt und daß die erste Stufe eine Grobrekonstruktion und die zweite Stufe eine Feinrekonstruktion umfaßt.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Grobrekonstruktion mit Hilfe eines neuronalen Netzes durchgeführt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Feinrekonstruktion durch

Vergleich der transformierten Feldwerte mit den in  
der datenbankähnlichen Struktur gespeicherten  
Standard-Feldwerten erfolgt.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

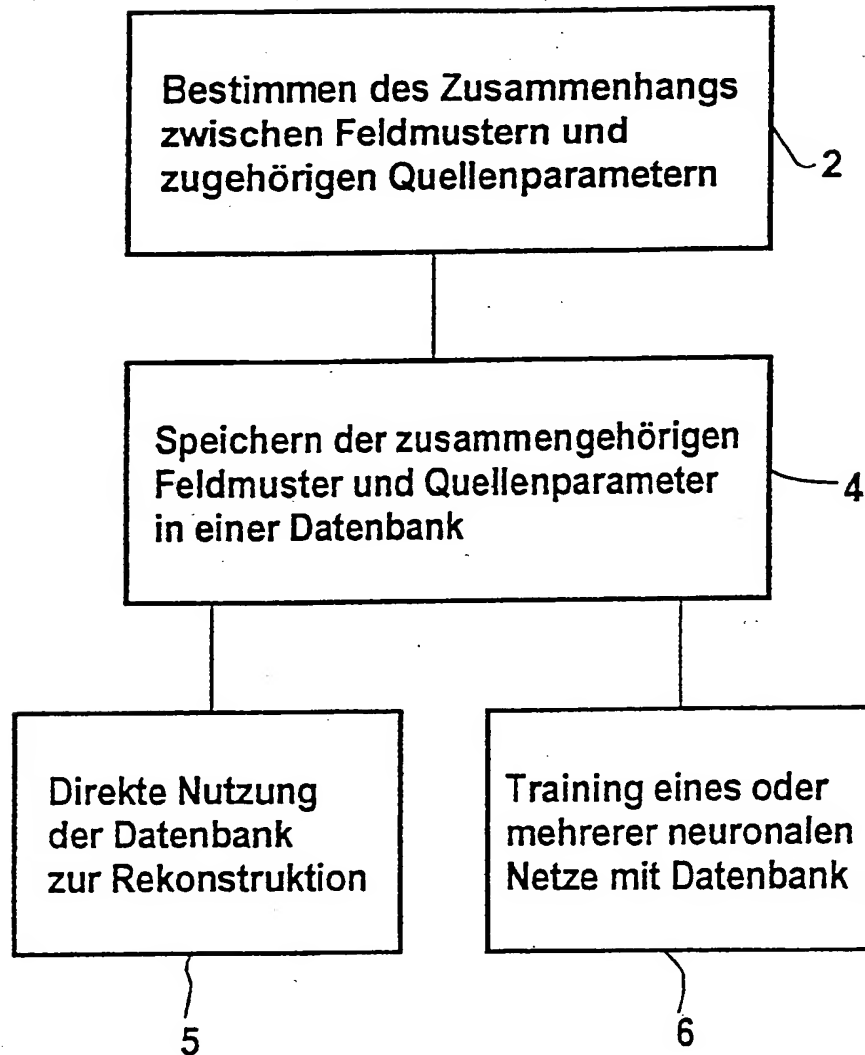


FIG 1

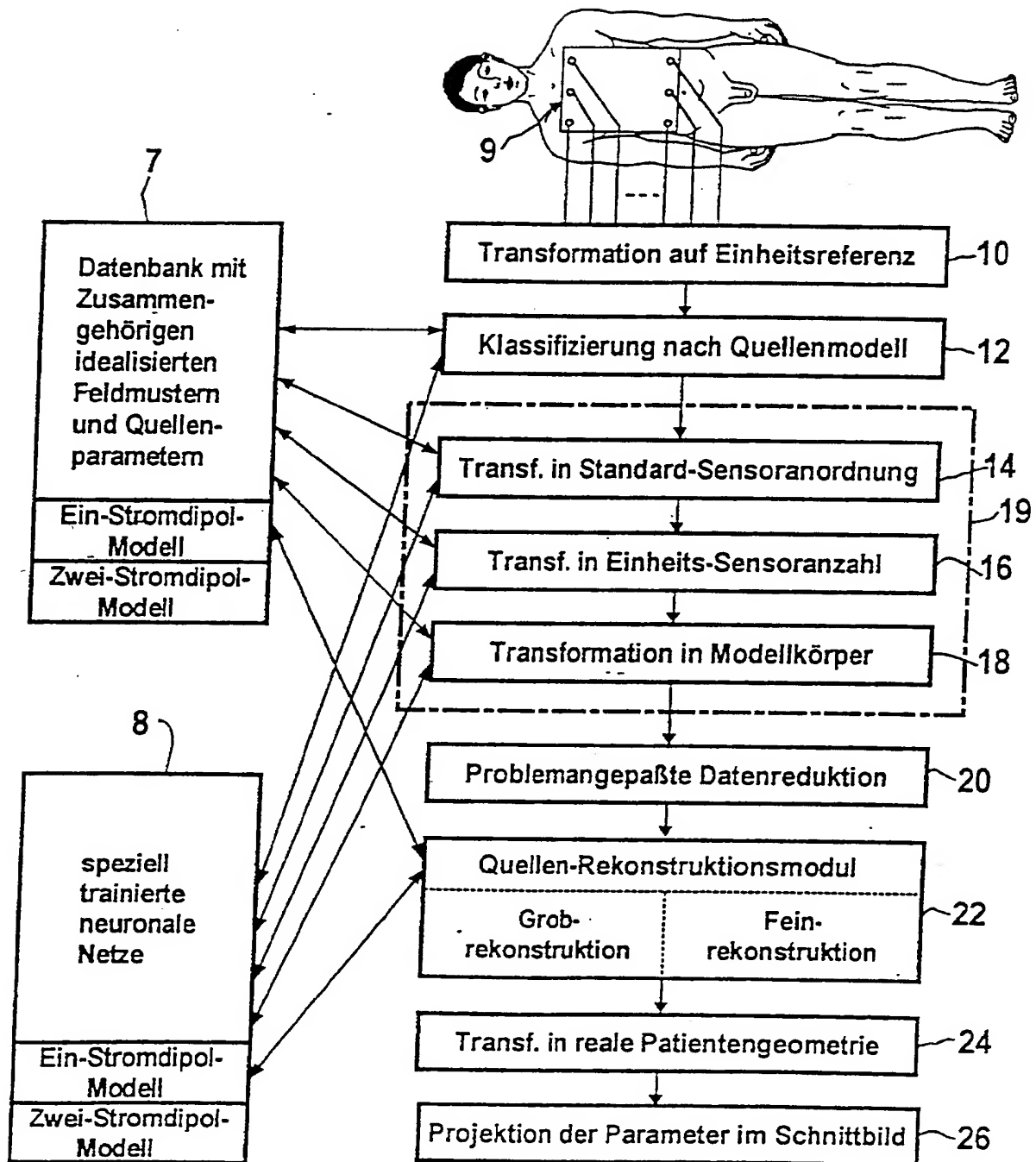


FIG 2

BEST AVAILABLE COPY

508 092/446